Journal of Horticultural Science
https://jhs.um.ac.ir

Research Article
Vol. 37, No. 2, Summer 2023, p. 423-436

The Evaluation of Growth, Yield and Physiological Responses of African Horned Cucumber (*Cucumis metuliferus* L.) to Deficit Irrigation

M. Ghoreyshi[1], F. Nekounam[2], T. Barzegar[3]*, J. Nikbakht[4]

Received: 30-04-2022 Revised: 09-06-2022 Accepted: 29-06-2022 Available Online: 06-07-2022	**How to cite this article:** Ghoreyshi, M., Nekounam, F., Barzegar, T., & Nikbakht, J. (2023). The evaluation of growth, yield and physiological responses of African Horned cucumber (*Cucumis metuliferus* L.) to deficit irrigation. *Journal of Horticultural Science*, *37*(2), 423-436. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jhs.2022.76473.1169

Introduction

Water stress is the most prominent abiotic stress limiting agricultural crop growth and productivity. Deficit irrigation stress as a consequence of the progressive decrease in water availability has been a hot topic regarding food security during the last two decades. Growth and development of plants is influenced by reduction in turgor that results in decreased nutrient acquisition from dry soil. When water supply is limited, plant growth and yield is reduced and plant structure is modified by decreasing in leaf size. The effect of deficit irrigation on fruit yield and quality has been reported by numerous researchers with different results. In melon, deficit irrigation reduced marketable fruit number and yield, average fruit weight, fruit diameter and did not affect rind thickness and seed cavity, but increased total soluble solids content. Although the effects of water stress have been studied on growth and yield of different crops during the last years, recent information on the response of African horned cucumber yield and quality to deficit irrigation remains limited, particularly about the results of restricted water distributions in arid and sub-arid environments. The main goal of this study was to evaluate the effect of controlled deficit irrigation on growth, physiological parameters and yield and fruit quality of African horned cucumber.

Material and Methods

Field experiment was performed based on a completely randomized block design with three irrigation regimes (60, 80 and 100 %ETc), whit three replications at Research Farm of University of Zanjan during the 2019. The African horned cucumber seeds were sown on 1th July 2020 at recommended spacing of 50 cm in row with 120 cm between rows. The irrigation system consisted of one drip line every crop row. The three irrigation levels were calculated based on actual evapotranspiration (ETc): (1) control, irrigated 100% crop water requirement, (2) deficit irrigation 80% ETc and (3) deficit irrigation 60% ETc. The Water requirement of the plant for control treatment was estimated using long-term average daily data of meteorological parameters recorded at Zanjan Meteorological Station and following relation. Before starting the differential irrigation at five-leaf stage, all treatments were supplied with similar amount of water to maximize stands and uniform crop establishment. During plant growth, the relative water content, proline content, electrolyte leakage, chlorophyll and carotenoids, P and K contents were measured. After fruit harvest, vine length of each plant, leaf dry weight and stem diameter were measured. The fruits were harvested when color changed from green to yellow. Fruit weight, fruit number per plant and fruit yield per plant was measured. Immediately after harvest, fruit firmness, total soluble solid, total phenols content, antioxidant capacity and vitamin C were determined.

1, 2 and 3- Former M.Sc. Student, Assistant Professor and Associate Professor, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran, Respectively.
(*- Corresponding Author Email: tbarzegar@znu.ac.ir)
4- Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran
DOI: 10.22067/jhs.2022.76473.1169

Results and Discussion

As the results showed water deficit stress significantly reduced plant length, chlorophyll content, and increased carotenoids content. Based on the findings, deficit irrigation caused a significant reduction in leaf relative water content. According to the results, phosphorus and potassium contents in African horned cucumber leaves decreased with deficit irrigation treatments. The highest P and K contents were found under irrigation 100 %ETc treatment. Drought stress and associated reduction in soil moisture can decrease plant nutrient uptake by reducing nutrient supply through mineralization. The proline content increased with the deficit irrigation treatments; in particular with sever deficit irrigation (60 %ETc). Mean comparisons of data showed that deficit irrigation led to a significant increase in electrolyte leakage compared to control.

Water deficit stress caused significant reductions in yield. The highest fruit number per plant and yield were obtained under irrigation 100% ETc. The average fruit weigh significantly increased in response to increase water deficit stress. Deficit irrigation treatments significantly decreased vitamin C and fruit firmness. Significant differences among irrigation treatments were observed for total phenols and total soluble solid contents. The phenols and total soluble solid contents increased with the decrease of irrigation water applied. Antioxidant capacity was affected significantly by the irrigation treatments, and water deficit stress increased antioxidant capacity, which no significant difference was observed between irrigation 100 and 80 %ETc.

Conclusion

Water deficit has been shown to adversely affect plant growth, fruit yield, and leaf water status of African horned cucumber, but led to increase the TSS and antioxidant capacity. According to the results, fruit yield reduced 13.9 % under irrigation 80% ETc compared to irrigation 100% ETc, However, water consumption was saved by 20% and improved fruit weight and fruit quality with increasing soluble solids and antioxidant capacity.

Keywords: Antioxidant capacity, Electrolyte leakage, Fruit weight, Proline, Yield

نشریه علوم باغبانی
https://jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۷، شماره ۲، تابستان ۱٤۰۲، ص. ٤۳٦-٤۲۳

ارزیابی پاسخ‌های رشدی، عملکردی و فیزیولوژیکی خیار شاخدار آفریقایی (*Cucumis metuliferus* L.) به تنش کم آبیاری

مسلم قریشی[۱]- فاطمه نکونام[۲]- طاهر برزگر[۳*]- جعفر نیکبخت[٤]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۱۰
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۳/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۰۸

چکیده

تنش خشکی به‌عنوان یک تنش غیرزیستی مهم رشد و عملکرد گیاهان را کاهش می‌دهد. به منظور بررسی اثر تنش کم آبیاری بر رشد، عملکرد و شاخص‌های فیزیولوژیکی خیار شاخدار آفریقایی، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشگاه زنجان در سال ۱۳۹۸ انجام شد. سطوح آبیاری شامل سه سطح ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه بود. نتایج نشان داد که تنش کم‌آبیاری، رشد و عملکرد میوه را بطور معنی‌داری کاهش داد. کمترین طول بوته، تعداد میوه (۱۰/۹) و عملکرد بوته (۱/۶ کیلوگرم) در تیمار کم آبیاری ۶۰ درصد حاصل شد. وزن میوه تحت تاثیر تنش کم‌آبیاری افزایش یافت و بیشترین وزن متوسط میوه (۱۶۴/۰۵ گرم) در تیمار کم آبیاری ۸۰ درصد حاصل شد. کیفیت میوه به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر تیمار آبیاری قرار گرفت. سفتی بافت میوه و مقدار ویتامین ث تحت تنش کم‌آبیاری کاهش یافت و مواد جامد محلول کل، مقدار فنل کل و ظرفیت آنتی اکسیدانی میوه افزایش یافت به‌طوری که بیشترین مقدار مواد جامد محلول (۴/۴۳ درصد بریکس)، فنل (۷/۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (۴۸/۷۸ درصد) و حداقل مقدار ویتامین ث (۱۰/۰۲ میلی‌گرم بر ۱۰۰ میلی‌لیتر) و سفتی بافت میوه (۲/۷۳ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع) در تیمار کم آبیاری ۶۰ درصد مشاهده شد. با افزایش تنش کم‌آبیاری، محتوای نسبی‌آب برگ و محتوای کلروفیل، غلظت عناصر فسفر و پتاسیم برگ کاهش یافت. درصد نشت‌یونی، محتوای کاروتنوئید و تجمع پرولین در پاسخ به افزایش تنش کم‌آبیاری به طور معنی‌داری افزایش یافت. در تیمار کم آبیاری ۸۰ درصد، اگرچه عملکرد میوه ۱۳/۹ درصد کاهش یافت ولی در مصرف آب ۲۰ درصد صرفه‌جویی شد و با افزایش مواد جامد محلول و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، کیفیت میوه و اندازه میوه بهبود یافت.

واژه‌های کلیدی: پرولین، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، عملکرد، نشت یونی، وزن میوه

مقدمه

تنش کم‌آبی یکی از مهمترین تنش‌های محیطی محدود کننده تولید محصولات گیاهی در سراسر جهان محسوب شده و اثرات نامطلوبی بر رشد و نمو گیاه و سایر فرایندهای متابولیکی دارد (Lum *et al.*, 2014). تنش کم‌آبی یا کمبود آب زمانی در گیاه صورت می‌گیرد که تلفات آب در اثر تعرق بیشتر از میزان جذب آن باشد. رشد سلول که یکی از فرایندهای فیزیولوژیکی حساس به خشکی است، به دلیل کاهش در فشار تورژسانس، در شرایط تنش خشکی کاهش می‌یابد. اختلال در تقسیم میتوز، توسعه و طویل شدن سلول منجر به کاهش ارتفاع بوته، سطح برگ و رشد گیاه در این شرایط می‌شود (Harb *et al.*, 2010). در شرایط کمبود آب، میزان آب برگ کاهش می‌یابد و کاهش پتانسیل آب برگ موجب بسته شدن روزنه و در نتیجه کاهش هدایت روزنه‌ای می‌گردد که این امر در نهایت باعث کاهش فتوسنتز و متعاقبا کاهش رشد می‌شود. شرایط ناشی از کم آبی

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد سابق، استادیار و دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان
(*- نویسنده مسئول: (Email: tbarzegar@znu.ac.ir
۴- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

DOI: 10.22067/jhs.2022.76473.1169

موجب کاهش جذب تشعشع فعال فتوسنتزی، کاهش بهره‌وری تابش و شاخص برداشت می‌گردد که در نهایت موجب کاهش عملکرد می‌شود. کاهش عملکرد تحت تنش کم‌آبی به طور عمده ناشی از کاهش تعداد و اندازه میوه است (Abdalla and El-Khoshiban, 2007). مطالعات پیشین نشان داد که تنش کم‌آبیاری به‌طور معنی‌داری فعالیت آنتی اکسیدانی و میزان پرولین، فنل، فلاونوئید و فعالیت آنزیم های پراکسیداز و کاتالاز را افزایش داد و شاخص پایداری غشا، محتوای نسبی آب برگ و عملکرد کاهو را کاهش داد (Khani *et al*., 2020). اعمال تنش کم‌آبیاری در گیاه بامیه، رشد و عملکرد میوه را به‌طور معنی‌داری کاهش داد (Barzegar *et al*., 2016). در پژوهشی مشاهده شد که تنش کم‌آبیاری به‌طور معنی‌داری رشد، عملکرد و کارایی مصرف آب را کاهش و درصد نشت یونی و محتوای پرولین را در هندوانه رقم چارلستون‌گری افزایش داد (Parkhide *et al*., 2018).

بسیاری از گیاهان، دارای مکانیسم خاصی جهت مقابله با شرایط کم آبی و افزایش کارآیی مصرف آب می باشند. یکی از مهمترین سازگاری‌های فیزیولوژیکی گیاهان تنظیم اسمزی است که از طریق تجمع ترکیبات آلی و غیرآلی در سلول، پتانسیل آب را کاهش داده و امکان جذب بیشتر آب از محیط های کم آب را برای گیاه فراهم می‌کند (Ashraf, 2010). این مواد عموماً شامل اسیدهای آمینه، قندها و اسیدهای آلی می‌باشند که در بین آنها احتمالا پرولین گسترده‌ترین ترکیب محلول است و به نظر می‌رسد تجمع آن در فرآیند سازگاری به تنش خشکی در بسیاری از گیاهان دخالت دارد. از مهمترین نقش‌های فیزیولوژیک تجمع پرولین در واکنش به کمبود آب، تنظیم فشار اسمزی و حفاظت از آنزیم‌های سیتوپلاسمی و ساختمانی غشاء است (Ghorbanli *et al*., 2013). تجمع پرولین بر اثر تنش خشکی، در هندوانهٔ وحشی (Zulu, 2009) و نشاهای خربزه (Kavas *et al*., 2013) گزارش شده است. تنش رطوبتی در گیاه گشنیز منجر به کاهش محتوای نسبی آب بافت و پتانسیل آب برگ گردید. همچنین در این مطالعه تنش آبی سبب افزایش محتوای پرولین و مالون دی آلدهید شد (Anjali and Kale, 2007).

بررسی گستردهٔ کم‌آبی، رویکردی ارزشمند برای تولید پایدار در مناطق خشک و نیمه خشک است. اهداف این رویکرد به بیشینه رساندن بهره‌وری مصرف آب و ایجاد بازده ثابت است. این روش در محصولات مختلف برای افزایش بهره‌وری آب بدون کاهش شدید عملکرد، موفقیت آمیز بوده است (Al-Ghobari *et al*., 2013). محدودیت رشد برگ و افزایش مقاومت روزنه‌ای به تبادلات گازی، کاهش جریان آب و تغذیهٔ معدنی را از ریشه به سوی قسمت‌های هوایی گیاه سبب می‌شود که بر جذب خالص تأثیر می‌گذارد و در نتیجه، تولید و تخصیص کربوهیدرات به قسمت‌های بالایی گیاه ازجمله میوه‌ها کاهش می‌یابد و به کاهش عملکرد منجر می‌شود (Shaw *et al*., 2002). تنش کم آبی در مرحلهٔ گلدهی، کاهش عملکرد و در مرحلهٔ تشکیل میوه، کاهش کمیت و کیفیت میوهٔ طالبی را باعث می‌شود و در مرحلهٔ رسیدن بر کیفیت (مقدار قند) میوه تأثیر می‌گذارد (Fabeiro *et al*., 2002).

خیار شاخدار آفریقایی (خربزه شاخدار یا کیوانو) دارای میوه‌ای سرشار از ترکیبات مختلف فیتوشیمیایی بخصوص ترکیبات فنولیک، ویتامین ث، بتا کاروتن و با طعم ترکیبی موز و خیار است، به‌عنوان یک میوه با رنگ پرتقالی پر از ژله سبز و دانه‌های سفید، در دهه‌های اخیر به میوه‌ای جهانی تبدیل شده است و در سال‌های اخیر در ایران نیز کشت می‌شود. از طرفی با توجه به اینکه خیار شاخدار آفریقایی گیاهی بومی آفریقا است و با احتمال متحمل بودن این گیاه به کم-آبی، می‌تواند به‌عنوان پایه برای گیاهانی مانند خیار مورد مطالعه قرار گیرد. بنابر بررسی‌های انجام شده اطلاعات کمی در مورد پاسخ‌های رشدی و فیزیولوژیکی خیار شاخدار آفریقایی به تنش کم‌آبیاری وجود دارد، لذا این تحقیق با هدف مطالعه پاسخ‌های رشدی و فیزیولوژیکی خیار شاخدار آفریقایی به تنش کم‌آبی انجام شد.

مواد و روش‌ها

به منظور ارزیابی رشد و عملکرد میوه و پاسخ‌های فیزیولوژیکی خیار شاخدار آفریقایی (*Cucumis metuliferus* L.) نسبت به تنش کم‌آبیاری، پژوهشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زنجان در سال ۱۳۹۸ اجرا گردید. تیمارهای آزمایشی شامل سه سطح آبیاری (۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه) بود. هر واحد آزمایشی شامل شش بوته بود. جدول ۱ ویژگی‌های خاک محل آزمایش را نشان می‌دهد.

بذرها از شرکت فردین کشت کرج تهیه شد و در اواخر اردیبهشت سال ۱۳۹۸ به‌صورت مستقیم در مزرعه کشت شدند. فاصله‌ی ردیف‌ها ۱۲۰ سانتی‌متر و فاصله‌ی بوته‌ها ۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در مرحله چهار الی پنج برگی تنش کم‌آبیاری اعمال شد (Barzegar *et al*., 2018b) و تا آخر فصل رشد و برداشت محصول ادامه داشت. نیاز آبی برای تیمار شاهد با استفاده از میانگین بلند مدت داده‌های روزانه پارامترهای هواشناسی ثبت شده در ایستگاه هواشناسی زنجان (جدول ۲) و رابطه زیر محاسبه شد (Vaziri *et al*., 2008).

$$ET_C = ET_0 \times K_C$$

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

Table 1- Soil physical and chemical properties on the site of experimental field

اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC (dS.m^{-1})	نیتروژن Nitrogen (%)	کلسیم Calcium (g.kg^{-1})	سدیم Sodium (g.kg^{-1})	پتاسیم Potassium (g.kg^{-1})	ماده آلی O.M. (%)	بافت خاک Soil texture	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)
7.4	1.49	0.07	0.12	0.13	0.2	0.95	لوم رسی Loam Clay	25	38	37

O.M , Organic matter

جدول ۲- میانگین بلندمدت پارامترهای هواشناسی ایستگاه سینوپتیک زنجان در دوره رشد گیاه (۱۳۹۸)

Table 2- Average daily climatic parameters of Zanjan Synoptic station during the growth season (2019)

	بارندگی Rainfall (mm)	تبخیر Evaporation (mm)	میانگین رطوبت نسبی Average relative humidity (%)	دمای حداقل Minimum temperature (°C)	دمای حداکثر Maximum temperature (°C)
اردیبهشت May	48.7	173.7	46.6	5.9	20.6
خرداد June	6.2	270.2	33.2	11.8	29.7
تیر July	0.0	320.9	34.2	15.3	35.0
مرداد August	0.1	308.1	34.4	16.1	34.5

پس از محاسبه مقادیر ETc، مقادیر نیاز خالص و نیاز ناخالص آب آبیاری گیاه بر اساس فواصل کشت، نـوع سیسـتم آبیـاری (قطـره‌ای- نواری) و دور آبیاری (سه روز) برآورد شد و سپس در هر نوبت آبیاری به گیاه داده می‌شد. نیاز آبی سایر تیمارها (تیمارهای تنش کم‌آبیـاری) بر اساس نیاز آبی تیمار شاهد و درصد تنش آبی، برآورد و توزیع شد.

صفات مورد ارزیابی

در پایان فصل رشد، طول بوته بر حسب سانتی‌متر و قطر ساقه بر حسب میلی‌متر ثبت شد. وزن خشک برگ به درصد بیان شد. در زمان برداشت (تغییر رنگ میوه‌ها از سبز به زرد) تعداد میوه‌هـای هـر بوتـه شمارش و عملکرد آنها برحسـب کیلـوگرم در بوتـه محاسـبه گردیـد. سفتی بافت میـوه با اسـتفاده از دسـتگاه سـفتی‌سـنج مـدل (Mc-cormic-FT327) انجام گرفت. مواد جامد محلول میوه با اسـتفاده از رفراکتومتر دستی مدل (ATAGO ساخت کشـور ژاپـن) بـر حسـب درصد بریکس اندازه‌گیری شد. میزان ویتامین ث (اسید آسکوربیک) با روش تیتراسیون و با کمک یدور پتاسیم و معرف نشاسته اندازه‌گیـری شد (AOAC. 2005).

میزان فنل کل میوه با استفاده از معرف فولین سـیوکالتو (Folin-Ciocalteaus) اندازه‌گیری گردید. برای این منظور ۰/۱ میلـی‌لیتـر از نمونه‌های رقیق شده همراه دو میلی‌لیتر کربنات سدیم (w/v %2) در لوله آزمایش ریخته شد و به‌مدت دو دقیقه در دمای اتاق نگـه داشـته شد. سپس ۰/۱ میلی‌لیتر از واکنش فولین سیوکالتو (۵۰ درصد) بـه آن اضافه شد. مخلوط واکنش بـه مـدت ۳۰ دقیقـه در دمـای اتـاق و در تاریکی نگه‌داری شد و سـپس میـزان جـذب آن در طـول مـوج ۷۲۰ نانومتر خوانـده شـد (Singleton and Rossi, 1965). بـرای انـدازه گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی از روش DPPH استفاده شد. ابتدا محلول ۰/۱ میلی‌مولار از DPPH تهیه شد. به این ترتیب که ۳/۹۵ میلی‌گرم DPPH در ۱۰۰ میلی‌لیتر متانول مطلق حل شد. سپس از عصـاره‌هـا ۵۰ میکرولیتر به محلول DPPH اضافه شـد بـه طـوری کـه حجـم نهایی ۲ میلی‌لیتـر شـد. جـذب آن در ۱۵ دقیقـه در طـول مـوج ۵۱۷ نانومتر خوانده شد (Dehghan and Khoshkam, 2012).

برای اندازه‌گیری محتـوای رنگدانـه‌هـای فتوسـنتزی از دسـتگاه اسـپکتروفتومتر (RS 232) SAFAS MONACO اسـتفاده شـد. ۰/۱گرم از نمونه برگ تازه را در هاون تمیز ریخته سپس بافـت را بـا ۲۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد له کرده بـه مـدت ۵ دقیقـه سـانتریفوژ کرده، بخش رویی به ارلن مایر ۱۰۰ میلی‌لیتری منتقل گردیـد. حجـم را با استن ۸۰ درصد به ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده سپس جذب محلـول در طول موج‌های ۴۸۰، ۵۱۰، ۶۴۵، ۶۶۳ و ۶۵۲ نانومتر خوانده شد (شاهد اسپکتروفتومتری استن ۸۰ درصد است). سپس با استفاده از رابطه‌های زیر مقادیر مقدار کلروفیل a، b و کارتنوئیـد محاسـبه شـد (Arnon, 1967).

$$\text{Chlorophyll a (mg g}^{-1}\text{ FW)}_t = 12.7\,(A_{663}) - 2.69\,(A_{645}) \times V/1000\,w$$

$$\text{Chlorophyll b (mg g}^{-1}\text{ FW)}_t = 22.9\,(A_{645}) - 4.68\,(A_{663}) \times V/1000\,w$$

$$\text{Carotenoid (mg g}^{-1}\text{ FW)}_t = 7.6\,(A_{480}) - 1.49\,(A_{510}) \times$$

V/1000 w

A: جذب طول موج ویژه V: حجم نهایی کلروفیل و کارتنوئید در استن ۸۰ درصد W: وزن تر بافت

جهت اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ، ابتدا وزن تر (FW) برگ‌ها اندازه‌گیری و سپس به‌منظور تعیین وزن در حالت اشباع (TW)، به مدت ۲۰ ساعت در شدت نور کم و در دمای اتاق در داخل آب مقطر قرار داده شدند. در پایان به‌منظور تعیین وزن خشک (DW)، برگ‌ها به‌مدت ۴۸ ساعت در آون دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. محتوای نسبی آب برگ‌ها با استفاده از رابطه زیر به‌دست آمد (Ritchie and Nguyen, 1990).

RWC= (FW-DW)/(TW-DW) × 100

درصد نشت یونی از طریق رابطه زیر با تقسیم هدایت الکتریکی اولیه (EC1) بر هدایت الکتریکی سلول های مرده (EC2) محاسبه شد (Ben Hamed *et al.*, 2007).

$EL= (EC_1/EC_2) \times 100$

اندازه‌گیری پرولین برگ به روش نین هیدرین (Bates *et al.*, 1973) با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت گردید و در نهایت با توجه به منحنی استاندارد حاصل از غلظت‌های مختلف پرولین خالص که به صورت یک معادلهٔ رگرسیونی می‌باشد، بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه شد.

برای اندازه‌گیری غلظت فسفر و پتاسیم برگ، پس از قرار دادن یک گرم از برگ در دمای۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۵ ساعت در کوره الکتریکی (مدل GPC 1200 ساخت انگلیس) و تعیین درصد خاکستر آن، ۱۰ میلی‌لیتر اسیدکلریدریک ۲ نرمال به آن اضافه شد سپس حجم محلول به‌دست آمده پس از عبور از کاغذ صافی با افزودن آب مقطر به ۱۰۰ میلی‌لیتر رسید. جذب محلول به‌منظور سنجش فسفر در طول موج ۴۲۰ نانومتر با اسپکتروفتومتر و پتاسیم با فلیم‌فتومتر خوانده شد. در پایان پس از رسم منحنی استاندارد هر دو عنصر، مقدار آنها براساس میلی گرم بر ۱۰۰ گرم ماده خشک محاسبه گردید (Jackson, 1958).

داده ها با استفاده از نرم افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ آنالیز و مقایسه میانگین‌ها از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

نتایج و بحث

صفات رشدی

نتایج حاصل از جدول ۳ نشان داد که تیمار آبیاری اثر معنی‌داری بر طول بوته و وزن خشک برگ داشت. با اعمال تنش کم‌آبیاری طول بوته کاهش یافت که بیشترین طول بوته (۲۱۵/۶ سانتی‌متر) در گیاهان تحت آبیاری ۱۰۰ درصد حاصل شد. با افزایش تنش کمبود آب، وزن خشک برگ افزایش یافت که این افزایش فقط در تنش شدید معنی‌دار بود. بین سطوح ۱۰۰ و ۸۰ درصد آبیاری از لحاظ وزن خشک برگ اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۳). تیمارهای آبیاری بر قطر ساقه اثر معنی‌داری نشان نداد.

تأثیر تنش خشکی به شدت و مدت آن و همچنین به زمان وقوع آن در طول چرخه زندگی گیاه بستگی دارد. کاهش رشد واضح‌ترین پاسخ گیاه به تنش آبی است که از کاهش جذب آب توسط ریشه‌ها ناشی می‌شود که منجر به کاهش توسعه یاخته ناشی از کاهش فشار آماس و تقسیم یاخته‌ای، کاهش فتوسنتز ناشی از بسته شدن روزنه‌ها و تخصیص بیشتر مواد به بخش زیرزمینی باشد (Farooq *et al.*, 2012). بر پایه‌ی نتایج گزارش‌های موجود در نتیجه تنش کم آبیاری، طول بوته در بسیاری از گیاهان مانند هندوانه (Suyum *et al.*, 2012) و خربزه (Kusvuran, 2010) به طور معنی‌داری کاهش یافت. قهرمانی و همکاران (Ghahremani *et al.*, 2021) گزارش کردند که طول و قطر ساقه در اثر تنش خشکی در گیاه خیار کاهش یافت. همچنین نجاریان و همکاران (Najarian *et al.*, 2018) بیان داشتند که در اثر تنش خشکی وزن تر و خشک بوته خیار کاهش معنی‌داری داشت. گیاهان تحت تنش کم‌آبیاری درصد ماده خشک بیشتری داشتند که احتمالا این افزایش به علت تفاوت در ضخامت برگ یا ترکیب بافت برگ است. همچنین بیان شده است هر چه آب در دسترس گیاه کمتر شود از میزان آب آزاد اندام‌های گیاه کاسته شده و آب به‌صورت غیر آزاد در گیاه باقی می‌ماند و به میزان درصد وزن خشک افزوده می‌شود و هر چه رطوبت نسبی افزایش یابد بر میزان آب بافت‌ها افزوده می‌شود، این امر می‌تواند ناشی از ایجاد مقاومت بیشتر با تغییر فشار اسمزی گیاه باشد (Farooq *et al.*, 2012). حسینی و همکاران (Hoseini *et al.*, 2018) گزارش کردند که درصد ماده خشک بوته لوبیا سبز در اثر تنش خشکی افزایش یافت.

رنگیزه‌های فتوسنتزی

تنش کم‌آبیاری به‌طور معنی‌داری کلروفیل a و b را کاهش داد اما مقدار کارتنوئید افزایش یافت. با توجه به جدول مقایسه میانگین، بیشترین مقدار کلروفیل a (۰/۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و b (۰/۳۳ میلی‌گرم برگرم وزن تر) تحت شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی و کم‌ترین مقدار در گیاهان تحت شرایط آبیاری ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه حاصل شد (جدول ۳). بیش‌ترین مقدار کاروتنوئید (۰/۱۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در تیمار ۶۰ درصد آبیاری مشاهده شد. محققان دیگر گزارش کردند محتوای کلروفیل برگ در خیار (Ghahremani *et al.*, 2021) و کاهو (Khani *et al.*, 2020) تحت تنش خشکی کاهش یافت.

دوام سطح برگ و حفظ کلروفیل برگ تحت شرایط تنش ازجمله

شاخص‌های فیزیولوژیکی مقاومت به تنش می‌باشند. از عوامل موثر بر کاهش محتوای کلروفیل در هنگام مواجه گیاهان با تنش خشکی، تولید گونه‌های واکنشگر اکسیژن و متعاقب آن پراکسیداسیون لیپیدها و تخریب کلروفیل است، همچنین در شرایط تنش غلظت تنظیم کننده‌های رشد مانند اسید آبسزیک و اتیلن افزایش می‌یابد که تحریک کننده آنزیم کلروفیلاز هستند و به این ترتیب کلروفیل تحت تأثیر این آنزیم تجزیه می‌شود (Orabi *et al.*, 2010). گزارش کردند کاهش میزان محتوای کلروفیل در شرایط تنش کم‌آبی، ممکن است به‌دلیل افزایش تخریب این رنگیزه‌ها و یا کاهش سنتز آنها و همچنین اختلال در فعالیت آنزیم‌های مسئول سنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی باشد (Erdem *et al.*, 2006). کاروتنوئیدها در کلروپلاست به عنوان رنگدانه‌های کمکی در جذب نور فعالیت می‌کنند، اما مهم‌ترین نقش آنها، توانایی در رفع سمیت شکل‌های مختلف اکسیژن فعال است که در نتیجه برانگیختگی ترکیب‌های فتوسنتزی تولید می‌شوند (Kafi *et al.*, 2009). افزایش میزان کاروتنوئید در شرایط تنش با توجه به نقش آنها در سیستم دفاع اکسیدانی برای محافظت از رنگدانه‌های فتوسنتزی (کلروفیل) قابل انتظار است. همچنین افزایش آن تحت تنش نشان دهنده نقش آنها در تعدیل میزان رادیکال‌های فعال اکسیژن می‌باشد (Edreva, 2005).

نشت یونی

با اعمال تنش کم‌آبیاری، میزان نشت یونی برگ افزایش یافت و کمترین نشت یونی (۶۴/۶ درصد) در گیاهان تحت تیمار ۱۰۰ درصد آبیاری مشاهده شد (جدول ۳).

نشت یونی شاخصی برای استحکام غشاها می‌باشد. حفظ پایداری غشاها در شرایط تنش، نشان‌دهنده سازوکارهای کنترلی در تحمل به تنش خشکی است در شرایط کمبود آب رادیکال‌های آزاد مانند گروه هیدروکسیل و پراکسید تولید می‌شوند که برای گیاه سمی بوده و موجب آسیب به غشای سلولی و در نتیجه نشت یونی می‌شوند (Hong and Jj-yun, 2007). هنگامی که محتوای آب در اندام‌های گیاه در شرایط تنش خشکی کاهش می‌یابد، میزان آسیب وارده به غشاء هم افزایش می‌یابد که موجب افزایش تراوایی و نشت یونی از یاخته و مرگ آن می‌شود (Apel and Hirt, 2004). تنش کم آبیاری با القای تنش اکسایشی (اکسیداتیو) و تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن، سبب پراکسید اسیدهای چرب غشاهای یاخته‌ای شده و نفوذپذیری غشاء و نشت را افزایش می‌دهد. در بررسی پاسخ چهار رقم گوجه فرنگی در شرایط تنش خشکی مشخص شد که در زمان بروز تنش میزان نشت یونی از غشای سلول افزایش یافت (Mahmoudnia *et al.*, 2013).

پرولین

با توجه به نتایج (جدول ۳)، بین سطوح ۱۰۰ و ۸۰ درصد آبیاری تفاوت معنی‌داری از نظر مقدار پرولین برگ مشاهده نشد اما با اعمال تنش شدیدتر (۶۰ درصد) مقدار پرولین به‌طور قابل ملاحظه‌ای (۷/۴۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) افزایش یافت.

تجمع مواد محافظت کننده اسمزی در پاسخ به تنش کمبود آب یک پدیده رایج در سلول های گیاهی است. یکی از مهم‌ترین محافظهای اسمزی، اسیدآمینه پرولین است که برای کاهش اثرات نامطلوب تنش کم‌آبی در گیاهان تجمع می‌یابد (Lum *et al.*, 2014). پرولین اسیدآمینه آنتی‌اکسیدانی است که می‌تواند بدون آسیب به ساختار یا اختلال در متابولیسم سلولی، در مقادیر بالایی در سلول-های گیاهی تجمع یابد و به ایجاد تعادل اسمزی، پایداری غشاء و خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد کمک کند (Demiray *et al.*, 2013). اعمال تنش خشکی در گیاه هندوانه (Parkhideh *et al.*, 2018) و خیار (Ghahremani *et al.*, 2021) باعث افزایش معنی‌دار مقدار پرولین برگ شد. نظرات متفاوتی در رابطه با افزایش پرولین در برگ در شرایط تنش خشکی ذکر گردیده است که مهم‌ترین آن‌را تجزیه پروتئین‌ها در این شرایط و افزایش فعالیت آنزیم‌های مرتبط با سنتز پرولین در شرایط تنش خشکی بیان نموده‌اند (Ramroudi and Khomr, 2013).

محتوای نسبی آب برگ

با توجه به نتایج مقایسه میانگین، بیشترین محتوای نسبی آب برگ (۵۷/۷ درصد) تحت شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی مشاهده شد و تنش کم‌آبیاری به‌طور معنی‌داری محتوای نسبی آب برگ را کاهش داد، کم‌ترین مقدار (۴۲/۱ درصد) در گیاهان تحت تیمار آبیاری ۶۰ درصد ثبت شد (جدول ۳).

یکی از مناسبترین معیارها برای تشخیص اثر تنش خشکی بر گیاه، محتوای نسبی آب برگ است. محتوای نسبی آب با هدایت روزنه‌ای، سرعت تعرق و فتوسنتز ارتباط داشته و گیاهانی که قادر باشند محتوای نسبی آب خود را نسبت به شرایط تورژسانس کامل در حد مطلوبی حفظ کنند، عملکرد بهتری در شرایط تنش از خود نشان می‌دهند (Abdalla and El-Khoshiban, 2007)). نتایج این آزمایش با نتایج مطالعات پیشین که گزارش کردند تنش خشکی محتوای نسبی آب برگ را در خیار (Ghahremani *et al.*, 2021) کاهش داد همخوانی دارد. گزارش شد محتوای نسبی آب برگ خیار در اثر تنش خشکی کاهش یافت که به‌دلیل کاهش پتانسیل آب برگ و کاهش جذب آب از ریشه‌ها در شرایط خشکی می‌باشد (Naz *et al.*, 2016).

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات سطوح مختلف آبیاری بر صفات رشدی، فیزیولوژیکی و غلظت عناصر فسفر و پتاسیم گیاه خیار شاخدار آفریقایی

Table 3- Main comparison the effects different irrigation levels on growth, physiological traits and P and K concentration of African horned cucumber.

سطوح آبیاری Irrigation levels (ETc%)	پتاسیم Potassium (mg 100gDW$^{-1)}$	فسفر Phosphorus (mg 100gDW$^{-1)}$	محتوای نسبی آب Relative water content (%)	پرولین Proline (mg gFW^{-1})	نشت یونی Electrolyte leakage (%)	کاروتنوئید Carotenoids (mg gFW^{-1})	کلروفیل b Chlorophyll a (mg gFW^{-1})	کلروفیل a Chlorophyll a (mg gFW^{-1})	وزن خشک برگ Leaf dry weight (%)	قطر ساقه Stem diameter (mm)	طول بوته Plant Length (cm)
100	157.18 a	38.18 a	57.77 a	2.49 b	64.62 c	0. 6 c	0.33 a	0.70 a	26.72 b	18.45 a	215.66 a
80	141.79 b	3416 a	48.34 b	2.56 b	80.08 b	0.10 b	0.28 ab	0.53 ab	31.24 ab	17.62 a	206 b
60	122.16 c	23.88 b	42.19 c	7.45 a	89.16 a	0.13 a	0.20 b	0.33 b	32.31 a	16.67 a	180.66 c
معنی‌داری Significance	**	**	**	**	**	**	**	**	**	ns	**

ns، * و ** به ترتیب بدون تفاوت معنی‌دار، تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

ns, *,**: non-significant and significant at 5 and 1% of probability levels, respectively.

در هر ستون میانگین‌های با دست کم یک حرف مشترک بدون اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد آزمون چنددامنه‌ای دانکن هستند.

In each column means with at least one common letter are lacked significant difference at 5% of probability level based on Duncan's multiple range test.

جدول ٤- اثرات سطوح مختلف آبیاری بر عملکرد و صفات کیفی میوه خیار شاخدار آفریقایی

Table 4- The effect of different irrigation levels on yield and fruit quality of African horned cucumber

سطوح آبیاری Irrigation levels (ETc%)	ظرفیت آنتی اکسیدانی DPPH (%)	فنل کل Total Phenols (mg g^{-1} FW)	ویتامین ث Vitamin C (mg. 100 mmL^{-1})	مواد جامد محلول TSS (Brix%)	سفتی میوه Fruit firmness ($Kg.cm^{-1}$)	وزن خشک میوه Fruit dry weight (%)	عملکرد بوته Plant Yield (kg)	وزن تر میوه Fresh Fruit Weight (g)	تعداد میوه Fruit number
100	21.32 b	4.27 b	14.68 a	3.20 c	3.79 a	5.95 a	4.01 a	135.2 c	29.65 a
80	37.10 ab	6.09 a	12.31 b	3.63 b	3.43 a	6.18 a	3.45 a	164.05 a	21.03 b
60	48.78 a	7.66 a	10.02 c	4.43 a	2.73 b	6.11 a	1.60 b	145.85 b	10.97 c
معنی‌داری Significance	**	**	**	**	**	ns	**	**	**

ns، * و ** به ترتیب بدون تفاوت معنی‌دار، تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

ns, *,**: non-significant and significant at 5 and 1% of probability levels, respectively.

در هر ستون میانگین‌های با دست کم یک حرف مشترک بدون اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد آزمون چنددامنه‌ای دانکن هستند.

In each column means with at least one common letter are lacked significant difference at 5% of probability level based on Duncan's multiple range test.

عناصر فسفر و پتاسیم

اعمال تنش کم‌آبیاری موجب کاهش غلظت فسفر و پتاسیم برگ گردید که این کاهش برای فسفر فقط در شرایط تنش ۶۰ درصد معنی‌دار بود. با توجه به نتایج (جدول ۳)، اعمال تنش کم‌آبیاری ۶۰ درصد باعث کاهش ۳۷/۴ درصد غلظت فسفر و ۲۲/۲ درصد پتاسیم گیاهان نسبت به آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی گردید. خانی و همکاران (Khani *et al*., 2020) گزارش کردند که تنش کم‌آبیاری در کاهو، محتوای فسفر برگ را کاهش و محتوای پتاسیم برگ را افزایش داد. تنش خشکی جذب پتاسیم و فسفر را به‌طور معنی‌داری در گیاه ذرت کاهش داد (Ge *et al*., 2012).

تنش رطوبتی اغلب جذب عناصر غذایی توسط گیاه را محدود می‌سازد. جذب مواد غذایی به وسیله‌ی گیاهان تحت شرایط کمبود آب، به دلیل کاهش عرضه مواد غذایی از طریق کانی‌سازی، کاهش انتشار و جریان توده‌ای عناصر در خاک، کاهش تعرق، اختلال در سیستم انتقال فعال و نفوذپذیری غشاء و در نتیجه کاهش نیروی جذب کنندگی ریشه، کاهش می‌یابد. همچنین با کاهش رطوبت خاک، سرعت انتشار مواد غذایی از محیط خاک به سطح جذب کننده‌ی ریشه کاهش می‌یابد. تثبیت فسفر و پتاسیم در خاک، در شرایط کم آبی، از دیگر دلایل کمبود آن در گیاه ذکر شده است (Ge *et al*., 2012). بیستا و همکاران (Bista *et al*., 2018) که تنش خشکی غلظت یا فعالیت پروتئین‌های جذب اصلی نیتروژن و فسفر را کاهش می‌دهد و این تأثیرات منفی بر پروتئین‌های جذب مواد مغذی، دلیل بالقوه‌ای برای کاهش مشاهده شده در نرخ جذب فسفر توسط ریشه در طول خشکسالی است، که می تواند توضیح دهد که چرا درصد فسفر گیاه در اثر خشکی کاهش یافت.

عملکرد و اجزای عملکرد

تیمار آبیاری بر صفات تعداد میوه، وزن تازه و عملکرد بوته تاثیر معنی‌داری داشت (جدول ۴). اعمال تنش کم‌آبیاری تعداد میوه در بوته و عملکرد بوته را به‌طور معنی‌داری کاهش داد. حداکثر تعداد میوه (۲۹/۶۵ عدد) و عملکرد بوته (۴/۰۱ کیلوگرم) تحت آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی مشاهده گردید (جدول ۴). وزن متوسط میوه در اثر تنش کم‌آبیاری افزایش یافت، به‌طوری بیشترین وزن متوسط میوه (۱۶۴/۰۵ گرم) در تیمار کم‌آبیاری ۸۰ درصد حاصل شد. وزن خشک میوه تحت تاثیر تیمارهای آبیاری قرار نگرفت (جدول ۴).

یکی از شاخص‌های مهم در تعیین عملکرد خیار و خیار شاخدار آفریقایی، تعداد میوه است که طبق نتایج، تنش کم‌آبیاری باعث کاهش معنی‌دار تعداد میوه شده است و در نتیجه کاهش تعداد میوه منجر به کاهش عملکرد گردید. محققان گزارش کردند که در گیاهان خربزه و طالبی (Sharma *et al*., 2014) و خیار (Najarian *et al*., 2018) تعداد میوه و عملکرد کاهش یافت. کمبود بیش از حد آب می‌تواند تعداد میوه در بوته را به دلیل افزایش سقط گل کاهش دهد (Sharma *et al*., 2014). در طول دوره تنش خشکی، سطح کل برگ و فتوسنتز برای هر گیاه به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد و کاهش سطح برگ و سطح فتوسنتز در اثر تنش کم آبی، دلیل اصلی کاهش عملکرد است. کاهش عملکرد در نتیجه کم‌آبی ممکن است به دلیل عدم رطوبت کافی خاک در منطقه ریشه باشد که در نتیجه آن فرآیندهای فیزیولوژیکی مختلف از جمله جذب مواد غذایی، رشد گیاه، فتوسنتز و تجمع ماده خشک گیاهی کاهش می‌یابد و این منعکس کننده عملکرد کمتر در اثر تنش کم‌آبی است (Shao *et al*., 2008). کاهش تعداد میوه در بوته تحت کمبود آب باعث گردید متوسط وزن میوه در شرایط تنش افزایش یابد. بیشترین وزن تازه میوه (۱۶۴/۰۵ گرم) تحت شرایط آبیاری ۸۰ درصد حاصل شد (جدول ۴).

صفات کیفی میوه

سفتی بافت میوه، مواد جامد محلول کل و ویتامین ث از شاخص‌های مهم کیفیت میوه می‌باشند. سفتی بافت میوه خیار شاخدار آفریقایی با اعمال تنش کم‌آبیاری کاهش یافت بطوریکه کمترین میزان سفتی میوه (۲/۷۳ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع) در آبیاری ۶۰ درصد مشاهده شد و بین سطوح آبیاری ۱۰۰ و ۸۰ درصد (به ترتیب ۳/۷۹ و ۳/۴۳ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع) تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۴). نتایج ما با نتایج مشابه در گیاهان خربزه (Barzegar *et al*., 2018b)، هندوانه (Parkhideh *et al*., 2018b) و خیار (Ghahremani *et al*., 2021) همخوانی دارد که تحت تنش کم آبیاری سفتی بافت میوه آنها کاهش یافت. عنصر کلسیم نقش مهمی در پایداری و استحکام دیواره و غشای یاخته‌ای دارد و از سوی دیگر، کلسیم در آوند چوبی در مسیر جریان تعرقی حرکت می‌کند، کاهش جذب این عنصر در اثر کم آبیاری باعث نرم شدن گوشت میوه می‌شود (Babalar *et al*; 1998).

مقدار مواد جامد محلول میوه با محدودیت مقدار آبیاری، افزایش یافت. بیشترین مقدار مواد جامد محلول (۴/۴۳ درصد بریکس) در تیمار کم‌آبیاری ۶۰ درصد و کمترین آن (۳/۲ درصد بریکس) در میوه گیاهان تحت آبیاری ۱۰۰ درصد به‌دست آمد (جدول ۴). مطالعات پیشین نشان دادند که محتوای قند میوه با تنش کم آبی همبستگی مثبت دارد (Dong *et al*., 2009). همچنین نتایج مشابه در گیاهان خیار شاخدار آفریقایی (Maluleke *et al*., 2021) و خیار (Ghahremani *et al*., 2021) گزارش شده است. از دلایل افزایش درصد مواد جامد محلول میوه، کاهش میزان آب میوه و تجمع مواد

جامد محلول در سلول به دلیل افزایش تولید هورمون اسید آبسیزیک و غلبه بر کاهش پتانسیل اسمزی در شرایط خشکی می‌باشد. همچنین افزایش تنفس در تنش کم‌آبیاری باعث شکسته شدن پلی ساکاریدها و تبدیل آنها به ترکیبات ساده‌تر و افزایش مواد جامد محلول می‌شود (Ivan Garcia *et al*., 2011).

تنش کم‌آبیاری به‌طور معنی‌داری مقدار ویتامین ث میوه را کاهش داد. بیشترین مقدار ویتامین ث (۱۴/۶۸ میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر) در میوه گیاهان تحت آبیاری ۱۰۰درصد حاصل شد. اعمال تنش کم-آبیاری ۶۰ درصد، محتوای ویتامین ث میوه را ۳۱/۷ درصد نسبت به آبیاری ۱۰۰ درصد کاهش داد (جدول ۴). نتایج تاکید می‌کنند که محتوای ویتامین ث به تنش کم آبی حساس است. نتایج ما با نتایج سایر محققان که گزارش کردند محتوای ویتامین ث میوه خربزه در اثر تنش خشکی کاهش یافت، مطابقت دارد (Wang *et al*., 2017 ; Barzegar *et al*., 2018b). مالوک و همکاران (Maluleke *et al*., 2021) گزارش کردند که اعمال تنش آبی شدید در گلخانه محتوای ویتامین ث میوه خیار شاخدار آفریقایی را کاهش داد.

محتوای فنل کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی

با توجه به نتایج ، اعمال تنش کم‌آبیاری به‌طور معنی‌داری محتوای فنل کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه را افزایش داد. بیشترین مقدار فنل کل (۷/۶۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در میوه گیاهان تحت تنش ۶۰ درصد حاصل شد (جدول ۴). به‌طوری که با کاهش سطح آبیاری از ۱۰۰ درصد به ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه، مقدار فنل کل از ۴/۲۷ به ۷/۶۶ میلی‌گرم در ۱۰۰گرم بافت تازه و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه از ۲۱/۳ درصد به ۴۸/۸ درصد افزایش یافت. نتایج نشان می‌دهد که رابطه مثبتی بین محتوای کارتنوئید، فنل کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه‌ها وجود دارد. مطالعات نشان داد اعمال تنش آبی شدید در خاک لومی باعث افزایش محتوای فنل و فلاونوئید میوه خیار شاخدار آفریقایی شد (Maluleke *et al*., 2021).

ترکیبات فنولی شامل گروه بزرگی از متابولیت‌های ثانویه در گیاه هستند که خواص آنتی‌اکسیدانی از خود نشان می‌دهند. این ترکیبات به عنوان گیرنده رادیکال‌های آزاد عمل کرده و سبب تحمل گیاهان در برابر تنش‌های اکسیداتیو می‌شوند (Barzegar *et al*., 2018a ; Shi *et al*., 2018). افزایش مقدار این ترکیبات احتمالاً به‌دلیل نقش آنتی-اکسیدانی آنها در برابر گونه‌های فعال اکسیژن است. بسیاری از ترکیبات فنلی از پالاینده‌های بسیار کارآمد پراکسید هیدروژن، رادیکالهای هیدروکسیل و پراکسیل هستند و به‌همین دلیل می‌توانند متوقف کننده زنجیره پراکسیداسیون لیپید و باعث ثبات غشاها باشند (Shi *et al*., 2018).

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه‌ها و سبزی‌ها شامل ترکیبات آنزیمی مثل آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز و همچنین ترکیبات غیر آنزیمی شامل ویتامین ث، ترکیبات فنلی و کارتنوئیدها می‌باشد و سیستم آنتی‌اکسیدانی باعث جلوگیری از اثرات پر خطر رادیکال‌های آزاد می‌شود (Barzegar *et* Shi *et al*., 2018 ; *al*., 2018)، همانطور که نتایج نشان می‌دهد در اثر تنش کم آبی مقدار کاروتنوئید، پرولین و فنل کل به‌عنوان ترکیبات آنتی‌اکسیدانی غیر آنزیمی افزایش یافته است که رابطه مثبت با ظرفیت آنتی اکسیدانی دارند.

نتیجه‌گیری

تنش کم‌آبیاری باعث کاهش رشد و عملکرد میوه گردید. بر اساس نتایج، طول بوته و تعداد میوه بطور معنی‌داری تحت تنش کاهش یافت ولی با کاهش تعداد میوه در بوته تحت تنش کم‌آبیاری، وزن میوه افزایش یافت. نشت یونی و تجمع پرولین تحت تنش کم آبیاری افزایش یافت که همبستگی منفی با عملکرد داشت. همچنین با افزایش محتوای نسبی آب برگ، عملکرد میوه نیز افزایش یافت و بیانگر همبستگی مثبت و معنی‌دار این صفت با عملکرد می‌باشد. از نظر محتوای کلروفیل، درصد نشت یونی و عملکرد میوه بین سطوح آبیاری ۱۰۰ درصد و ۸۰۰ درصد نیاز آبی گیاه تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در تیمار کم آبیاری ۸۰ درصد با کاهش ۲۰ درصدی مصرف آب، عملکرد کاهش معنی‌داری نسبت به آبیاری ۱۰۰ درصد نداشت ولی با افزایش تنش کم‌آبیاری تا ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه، عملکرد کاهش معنی‌داری یافت و صفات کیفی میوه شامل مواد جامد محلول کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه افزایش نشان داد. بنابراین با توجه به محدودیت آب در کشور، آبیاری گیاهان با ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه پیشنهاد می‌گردد.

منابع

1. Abdalla, M.M., & El-Khoshiban, N.H. (2007). The influence of water stress on growth, relative water content, photosynthetic pigments, some metabolic and hormonal contents of two *Triticum aestivum* cultivars. *Journal of Applied Science Research*, *3*, 2062-2074.
2. Al-Ghobari, H.M., Mohammad, F.S., & El-Marazky, M.S.A. (2013). Effect of intelligent irrigation on water use efficiency of wheat crop in arid region. *Journal of Animal and Plant Sciences*, *23*(6), 1691-1699.
3. Anjali, S., & Kale, P.B. (2007). Response and recovery of *Coriandrum sativum* L. variety indoor exposed to soil

moisture stress. *Indian Journal of Plant Physiology*, *12*, 266-270.

4. AOAC. (2000). *Official method of analysis of the association of official analytical chemists*. Washington D.C. 12: 377-378.
5. Apel, K., & Hirt, H. (2004). Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Plant Biology*, *55*, 373-399. http://dx.doi.org/10.1146/annurev.arplant.55.031903.141701
6. Arnon, A.N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, *23*, 112-121.
7. Ashraf, M., & Foolad, M.R. (2007). Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*, *59*, 206-216. http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.12.006
8. Babalar, M., Dolati Baneh, A., & Shraftyan, D. (1998). Effect of calcium chloride on the quality of post-harvest storage of two varieties of grape and currant Shahroudi. *Iranian Journal of Horticultural Science 15*(1), 31-40. (In Persian with English abstract)
9. Barzegar, T., Fateh, M., & Razavi, F. (2018a). Enhancement of postharvest sensory quality and antioxidant capacity of sweet pepper fruits by foliar applying calcium lactate and ascorbic acid. *Scientia Horticulturae, 241*, 293–303. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.07.011
10. Barzegar, T., Heidaryan, N., Lotfi, H., & Ghahremani, Z. (2018b). Yield, fruit quality and physiological responses of melon cv. Khatooni under deficit irrigation. *Advances in Horticultural Science*, *32*(4), 451-458. https://doi.org/10.13128/ahs-22456
11. Barzegar, T., Moradi, P., Nikbakht, J., & Ghahremani, Z. (2016). Physiological response of okra cv. Kano to foliar application of putrescine and humic acid under water deficit stress. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, *3*(2), 187-197. https://doi.org/10.22059/ijhst.2017.213448.147
12. Bates, L.W., Aldren, R.P., & Teare, I.D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*, *39*, 205-207.
13. Ben Hamed, K., Castagna, A., Salem, E., Ranieri, A., & Abdelly, C. (2007). Sea fennel (*Crithmum maritimum* L.) under salinity conditions: a comparison of leaf and root antioxidant responses. *Plant Growth Regulators*, *53*, 185-194.
14. Bista, D.R., Heckathorn, S.A., Jayawardena, D.M., Mishra, S., & Boldt, J.K. (2018). Effects of drought on nutrient uptake and the levels of nutrient-uptake proteins in roots of drought-sensitive and -tolerant grasses. *Plants*, *7*(2), 1-16. https://doi.org/10.3390/plants7020028
15. Dehghan, G., & Khoshkam, Z. (2012). Tin (II)–quercetin complex: Synthesis, spectral characterization and antioxidant activity. *Food Chemistry*, *131*(2), 422-426. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.08.074
16. Demiray, E., Tulek, Y., & Yilmaz, Y. 2013. Degradation kinetics of lycopene, β-carotene and ascorbic acid in tomatoes during hot air drying. *LWT-Food Science and Technology*, *50*(1), 172-176. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.06.001
17. Dong, C.X., Zhou, J.M., Fan, X.H., Wang, H.Y., Duan, Z.Q., & Tang, C. (2005). Application methods of calcium supplements affect nutrient levels and calcium forms in mature tomato fruits. *Journal of Plant Nutrition*, *27*, 1443-1455. https://doi.org/10.1081/PLN-200025861
18. Edreva, A. (2005). The importance of non-photosynthetic pigments and cinnamic acid derivatives in photoprotection. *Agriculture Ecosystems and Environment*, *106*(2), 135-146. https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.10.002
19. Erdem, Y., Shirali, S. Erdem, T., & Kenar, D. (2006). Determination or crop water stress index for irrigation scheduling of Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal Agriculture and Forest*, *30*, 195-202.
20. Fabeiro, C., Martin de Santa Olalla, F., & De Juan, J.A. (2002). Production of muskmelon (*Cucumis melo* L.) under controlled deficit irrigation in a semi-arid climate. *Agricultural Water Management*, *54*, 93-105. https://doi.org/10.1016/S0378-3774(01)00151-2
21. Farooq, M., Somasundaram, R., & Panneerselvam, R. (2012). Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, *11*, 100-105.
22. Ferrara, L. (2018). A fruit to discover: *Cucumis metuliferus* E.Mey Ex Naudin (Kiwano). *Journal of Clinical Nutrition and Metabolism, 5*, 1–2. https://doi.org/10.15761/CNM.1000109
23. Ge, T.D., Sun, N.B., Bai, L.P., Tong, C.L., & Sui, F.G. (2012). Effects of drought stress on phosphorus and potassium uptake dynamics in summer maize (*Zea mays*) throughout the growth cycle. *Acta Physiology of Plantarum*, *34*, 2179–2186. https://doi.org/10.1007/s11738-012-1018-7
24. Ghahremani, Z., Mikaealzadeh, M., Barzegar, T., & Ranjbar, M.E. (2021). Foliar application of ascorbic acid and gamma aminobutyric acid can improve important properties of deficit irrigated cucumber plants (*Cucumis sativus* cv. Us). *Gesunde Pflanzen*, *73*, 77–84. https://doi.org/10.1007/s10343-020-00530-6
25. Ghorbanli, M., Gafarabad, M., Amirkian, T., & Allahverdi Mamaghani, B. (2013). Investigation of proline, total protein, chlorophyll, ascorbate and dehydroascorbate changes under drought stress in Akira and Mobil tomato cultivars. *Iranian Journal of Plant Physiology*, 3, 651-658.

26. Jackson, M.L. (1958). *Soil chemical analysis*, Prentice Hall Inc, Englewood Cliffs, New Jersey. United States of America, 498.
27. Harb, A., Krishnan, A., Ambavaram, M.M., & Pereira, A. (2010). Molecular and physiological analysis of drought stress in Arabidopsis reveals early responses leading to acclimation in plant growth. *Plant Physiology, 154*(3), 1254-1271. https://doi.org/10.1104/pp.110.161752
28. Hong, W., & Jj-yun, J. (2007). Effects of zinc deficiency and drought on plant growth and metabolism of reactive oxygen species in maize (*Zea mays* L.). *Agricultural Sciences in China*, *6*, 988-995. https://doi.org/10.1016/S1671-2927(07)60138-2
29. Hoseini, S.Z., Barzegar, T., Nikbakht, J., & Ghahremani, Z. (2018). Growth and physiological reactions of common bean cv. Sanry in response to salicylic acid and biostimulants under different irrigation regimes. *Journal of Plant Ecophysiology*, *10*(35), 73-87.
30. Ivan Garcia, T., Victor Hugo, D.Z., & Jose Luis, M.F. (2011). Long-term impact of sustained deficit irrigation on yield and fruit quality in sweet orange cv. Salustiana (SW Spain). *Comunicata Scientiae, 2*(2), 76-84. https://doi.org/10.14295/cs.v2i2.41
31. Kafi, M., Borzoee, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masoumi, A., & Nabati, J. (2009). *Physiology of environmental stresses in plants*. Publication of Ferdowsi University. 502 pp. (in Persian).
32. Kavas, M., Cengiz, M., & Akca, O. (2013). Effect of drought stress on oxidative damage and antioxidant enzyme activity in melon seedlings'. *Turkish Journal of Biology*, *37*, 491-498. https://doi.org/10.3906/biy-1210-55
33. Khani, A., Barzegar, T., Nikbakht, J., & Ghahremani, Z. (2020) Effect of foliar spray of calcium lactate on the growth, yield and biochemical attribute of lettuce (*Lactuca sativa* L.) under water deficit stress. *Advances in Horticultural Science*, *34*(1), 11-24. https://doi.org/10.13128/ahsc-8252
34. Kusvuran, S., Dasgan, H.Y., & Abak, K. (2011). Responses of different melon genotypes to drought stress. *Journal of Agriculture Science*, *21*, 209-219.
35. Liu, J.J., Lin, S.H., Xu, P.L., Wang, X.J., & Bai, J.G. (2009). Effects of exogenous silicon on the activities of antioxidant enzymes and lipid peroxidation in chilling-stressed cucumber leaves. *Agricultural Sciences in China, 8*(9), 1075-1086. https://doi.org/10.1016/S1671-2927(08)60315-6
36. Lum, M., Hanafi, M., Rafii, Y., & Akmar, A. (2014). Effect of drought stress on growth, proline and antioxidant enzyme activities of upland rice. *Journal of Animal and Plant Sciences*, *24*, 1487–1493.
37. Mahmoudnia, M.M., Farsi, M., Marashi S., & Ebadi, P. (2013). Physiological response to drought stress in four species of tomato. *Journal of Horticultural Science*, *26*(4), 409-416. https://doi.org/10.22067/jhorts4.v0i0.18252
38. Maluleke, M.K., Moja, S.J., Nyathi, M., & Modise, D.M. (2021). Nutrient concentration of african horned cucumber (*Cucumis metuliferus* L) fruit under different soil types, environments, and varying irrigation water levels. *Horticulturae, 7*(4), 76. https://doi.org/10.3390/horticulturae7040076
39. Najarian, M., Mohammadi-Ghehsareh, A., Fallahzade, J., & Peykanpour, E. (2018). Responses of cucumber (*Cucumis sativus* L.) to ozonated water under varying drought stress intensities. *Journal of Plant Nutrition, 41*(1), 1-9. https://doi.org/10.1080/01904167.2017.1346665
40. Naz, H., Akram, N.A., & Ashraf, M. (2016). Impact of ascorbic acid on growth and physiological attributes of cucumber (*Cucumis sativus*) plants under water-deficit condition. *Pakistan Journal of Botany*, *48*(3): 877-883.
41. Orabi, S.A., Salman, S.R., & Shalaby, M.A. (2010). Increasing resistance to oxidative damage in cucumber (*Cucumis sativus* L.) plants by exogenous application of salicylic acid and paclobutrazol. *World Journal of Agricultural Sciences, 6*, 252-259.
42. Parkhideh, P., Barzegar, T., Nikbakht, J., & Nekonam, F. (2018a). The evaluate of growth, yield and physiological responses of bitter apple (*Citrullus colocynthis*) under deficit irrigation stress condition. *Crops Improvement (Journal of Agricultural Crops Production), 20*(2), 357-369. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/jci.2018.225366.1641
43. Parkhideh, P., Barzegar, T., & Nekonam, F. (2018b). Growth, yield and physiological responses of watermelon cv. Charleston Gray grafted on bitter apple (*Citrullus colocynthis* L.) rootstock under deficit irrigation stress. *Iranian Journal of Horticultural Science, 49*(2), 539-550. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/ijhs.2017.233823.1258
44. Ramroudi, M., & Khomr, A.R. (2013). Interaction effects of salicylic acid spraying and different irrigation levels on some quantity and quality traits, and osmoregulators in basil (*Ocimum basilicum*). *Applied Research of Plant Ecophysiology, 1*(1), 19-31.
45. Ritchie, S.W., Nguyen, H.T., & Holaday, A.S. (1990). Leaf water content and gas-exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science, 30*(1), 105-111. https://doi.org/10.2135/cropsci1990.0011183X003000010025x
46. Shao, H.B., Chu, L.Y., Jaleel, C.A., & Zhao, C.X. (2008). Water-deficit stress induced anatomical changes in higher plants. *Comptes Rendus Biologies, 331*, 215-225. https://doi.org/10.1016/j.crvi.2008.01.002
47. Singleton, V., & Rossi, J. (1965). Colorimetry of total phenolic compounds with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, *16*, 144-158.

48. Sharma, S.P., Leskovar, D.I., Crosby, K.M., Volder, A., & Ibrahim, A.M.H. (2014). Root growth, yield, and fruit quality responses of reticulatus and inodorus melons (*Cucumis melo* L.) to deficit subsurface drip irrigation. *Agricultural Water Management*, *136*, 75-85. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.01.008
49. Shaw, B., Thomas, T.H., & Cooke, D.T. (2002). Responses of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) to drought and nutrient deficiency stress. *Plant Growth Regulation*, *37*, 77-83. https://doi.org/10.1023/A:1020381513976
50. Shi, J., Zuo, J., Zhou, F., Gao, L., Wang Q., & Aili Jiang, A. (2018). Low-temperature conditioning enhances chilling tolerance and reduces damage in cold-stored eggplant (*Solanum melongena* L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, *141*, 33–38. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.03.007
51. Suyum, K., Dasgan, H.Y., Sari, N., & Kusvuran, S. (2012). *Genotypic variation in the response of watermelon genotypes to salinity and drought stresses*. In: Proceedings of the 15th National Vegetable Symposium, Konya-Turkey. pp.225-230.
52. Vaziri, Z.H., Salamat, A., Ansari, M., Meschi, M., Heidari, N., & Dehqany Sanych, H. (2009). *Evapotranspiration plant (water consumption guidelines for plants)* (Translation). Publications of the National Committee of Irrigation and Drainage, printing, Tehran. (In Persian)
53. Wang, J., Huang, G., Li, J., Zheng, J., Huang, Q., & Liu, H. (2017). Effect of soil moisture-based furrow irrigation scheduling on melon (*Cucumis melo* L.) yield and quality in an arid region of Northwest China. *Agricultural Water Management*, *179*, 167-176. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.04.023
54. Zulu, N.S. (2009). *Wild watermelon (Citrullus lanatus* L.*) landrace production in response to three seedling growth media and field planting dates*. M.Sc. thesis. Faculty of Agriculture KwaZulu-Nata University, Pietermaritzburg.